

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-270921
(P2002-270921A)

(43) 公開日 平成14年9月20日 (2002.9.20)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコード (参考)
H 0 1 L 43/08		H 0 1 L 43/08	Z 2 G 0 1 7
G 0 1 R 33/09		G 1 1 B 5/39	5 D 0 3 4
G 1 1 B 5/39		G 1 1 C 11/14	A 5 E 0 4 9
G 1 1 C 11/14		11/15	5 F 0 8 3
11/15		H 0 1 F 10/26	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 12 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-68741 (P2001-68741)

(22) 出願日 平成13年3月12日 (2001.3.12)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72) 発明者 斉藤 好昭

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 砂井 正之

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(74) 代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

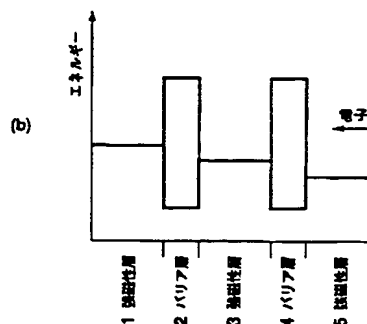
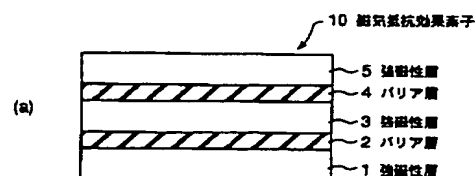
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果素子

(57) 【要約】

【課題】 出力信号電圧が大きく、そのばらつきも少ない大容量磁気記録装置、磁気再生装置向けの磁気抵抗効果素子を提供する。

【解決手段】 強磁性層二重トンネル接合において、強磁性層1, 3, 5の磁性元素の割合が異なる、あるいはバリア層2, 4の含有元素が異なるように構成することにより、ウエハー面内のMR比のバラツキを小さくし、大きな出力信号電圧を得る。



1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 の強磁性層と、この第 1 の強磁性層上に形成された第 1 のバリア層と、この第 1 のバリア層上に形成された第 2 の強磁性層と、この第 2 の強磁性層上に形成された第 2 のバリア層と、この第 2 のバリア層上に形成された第 3 の強磁性層 3 の積層体からなり、前記第 1、第 2 および第 3 の強磁性層の磁性元素の割合が異なることを特徴とした磁気抵抗効果素子。

【請求項 2】 第 1 の強磁性層と、この第 1 の強磁性層上に形成された第 1 のバリア層と、この第 1 のバリア層上に形成された第 2 の強磁性層と、この第 2 の強磁性層上に形成された第 2 のバリア層と、この第 2 のバリア層上に形成された第 3 の強磁性層 3 の積層体からなり、前記第 1 および第 2 のバリア層の含有元素が異なることを特徴とした磁気抵抗効果素子。

【請求項 3】 前記第 1 および第 3 の強磁性層の少なくとも一方の、前記積層体の外側に、反強磁性層が付与されていることを特徴とする請求項 1 および 2 のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 4】 前記第 1 乃至第 3 の強磁性層の少なくとも 1 層が、第 4 の強磁性層と、この第 4 の強磁性層の上に形成された非磁性金属層と、この非磁性金属層の上に形成された第 5 の強磁性層 5 からなることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 5】 複数のワード線と、この複数のワード線に交差する複数のビット線と、前記複数のワード線と複数のビット線の各交点において、前記ビット線とワード線の間に磁気抵抗効果素子と導通制御素子とを有し、前記磁気抵抗効果素子が、請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子からなることを特徴とする磁気ランダムアクセスメモリ。

【請求項 6】 磁気感知部に請求項 1 乃至請求項 4 のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子を有することを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項 7】 磁気感知部に請求項 1 乃至請求項 4 のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子を有することを特徴とする磁気再生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、強磁性体とトンネルバリア層を含む磁気抵抗効果素子およびそれを用いた磁気記録素子、磁気ヘッド、磁気再生装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 磁性膜を用いた磁気抵抗効果素子は、磁気ヘッド、磁気センサー、磁気再生装置などに用いられているとともに、磁気記録素子（磁気抵抗効果メモリ）などが提案されている。これらの磁気抵抗効果素子は、外部磁界に対する感度が大きいこと、応答スピードが早いことが要求されている。

【0003】 磁気抵抗効果は、磁性体に磁場を印加する

2

と電気抵抗が変化する現象である。強磁性体を用いた磁気抵抗効果素子は、温度安定性に優れ、使用温度範囲が広いという特徴を有している。

【0004】 また、近年、2つの磁性金属層の間に一層の誘電体を挿入したサンドイッチ膜において、膜面に垂直に電流を流し、トンネル電流を利用した磁気抵抗効果素子（TMR, Tunneling Magneto-resistance）、いわゆる強磁性トンネル接合素子が見出されている。強磁性トンネル接合は、20%以上の磁気抵抗変化率（MR比）が得られるようになったことから（J. Appl. Phys. 79, 4724(1996)参照）、磁気ヘッドや磁気抵抗効果メモリへの応用の可能性が高まってきた。この強磁性トンネル接合は、薄い0.4nmから2.0nm厚のAl層を強磁性電極上に成膜した後、表面を純酸素または酸素グロー放電、または酸素ラジカルに曝すことによって、AlO_xからなるトンネルバリア層を形成している。この強磁性トンネル接合素子（強磁性1重トンネル接合）では、所望の出力電圧値を得るため強磁性トンネル接合素子に印加する電圧値を増やすとMR比がかなり減少するという問題点があった（Phys. Rev. Lett. 74, 3273(1995)参照）。

【0005】 また、上記強磁性1重トンネル接合の片一方の強磁性層に反強磁性層を付与し、片方を磁化固着層とした構造を有する強磁性1重トンネル接合が提案されている（特開平10-4227参照）。しかし、この強磁性トンネル接合素子（強磁性1重トンネル接合）でも、所望の出力電圧値を得るため強磁性トンネル接合素子に印加する電圧値を増やすとMR比がかなり減少するという問題が同様に存在する。

【0006】 また、誘電体中に分散した磁性粒子を介した強磁性トンネル接合、あるいは、強磁性二重トンネル接合が提案されている（特願平9-260743、Phys. Rev. B56(10), R5747(1997), 応用磁気学会誌23, 4-2, (1999), APPI. Phys. Lett. 73(19), 2829(1998)参照）。これらにおいても、20%以上のMR比が得られるようになったことから、磁気ヘッドや磁気抵抗効果メモリへの応用の可能性が生じてきた。

【0007】 これら強磁性二重トンネル接合では、強磁性一重トンネル接合に比べて、バイアス電圧にともなうMR比の低下が少ないため、大きな出力が得られるという特徴を有している。しかし、固体磁気メモリ（例えばMRAM）やハードディスク装置（HDD）に上記の強磁性二重トンネル接合を使用する場合には、その容量が大容量になると（例えばMRAMでは256Mbit以上）、使用バイアス電圧において更なる大きなMR比が必要となる。

【0008】 また、非対称な電流-電圧特性を持つ強磁性トンネル接合において、MR比のバイアス依存性が小さい極性側の電圧で使用し、MR比の減少を少なくする方法および強磁性トンネル接合構造が提案されている

10

20

30

40

50

(特開平2000-251230参照)。

【0009】その方法としては、(1)絶縁障壁(トンネルバリア)内の酸素分布を制御する方法および構造、(2)絶縁(トンネルバリア)層の成膜時の組成分布を制御する方法および構造、(3)Alを酸化しバリア作製時にAlを残しバリア上下の界面状態を変える方法および構造、(4)上記強磁性層/バリア層/強磁性層の3層構造において、MR比のバイアス依存性のピークが正バイアス電圧側にあるものと負バイアス電圧側にあるものとを直列(二重接合型)または並列接続する方法および構造が提案されている(特開平2000-251230参照)。

【0010】しかし、これらのトンネルバリア層の構造、アニールによる界面状態の制御法を用いると、プロセス時の温度履歴等によりウエハー面内のバイアス依存性がばらつき、いくつもの素子で1つの機能を構成するデバイスには問題が生ずる可能性がある。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】上述したように、強磁性1重トンネル接合においては、所望の出力電圧値を得るため強磁性トンネル接合素子に印加する電圧値を増やすと磁気抵抗変化率(MR比)がかなり減少するという問題が存在する。強磁性体/誘電体/強磁性体/誘電体/強磁性体を基本構造とした強磁性2重トンネル接合においては、印加電圧値の増加に伴うMR比の減少は小さいが、DRAM等の大容量メインメモリを代替しようとすると、もっと大きな信号電圧が必要となる。

【0012】また、非対称なバリアを有するトンネル接合として、特開平2000-251230に種々な方法および構造が開示されているが、その中で最も大きな信号電圧が得られると考えられる構造(前述の(4))においても、256Mbit以上のMRAM作製には、信号電圧が不足する。その上、この方法で作製したトンネル接合では、プロセス中の熱工程においてMR比のバイアス電圧依存性のバラツキが生じてしまい、その結果出力信号電圧のバラツキが大きくなる。このため、MRAMなどのいくつかの素子で1つのデバイスを構成する素子の場合、素子間のバラツキが大きく、動作しなくなってしまうという問題があった。

【0013】図17は、256MbitMRAM(1T1R-1MTJ(Magnetic Tunnel Junction)アーキテクチャ)において、MTJ(TMR Tunneling Magnetoresistance)の抵抗値のばらつき($\Delta R_{MTJ}/R_{MTJ}$)が5%の場合と10%の場合の磁気抵抗効果素子に課される出力信号電圧(縦軸)、抵抗率(横軸)の規格の1例を示し、斜線部が許容範囲である。

【0014】この計算では、1CMOS-1MTJアーキテクチャを仮定し、線幅で代表される設計ルールF=0.175 μ m、センスアンプ増幅前の信号電圧Vs(MR \times V_B/2、但しMR;MR比、V_B;使用時の素

子に印加されるバイアス電圧)=50mV、標準的なCMOSの抵抗値 $r_{CMOS}=10k\Omega$ 、 r_{CMOS} のバラツキ=10%、およびビット線の容量 $C_B=320fF$ 、素子に印加されるバイアス電圧の値=800mV、アクセス時間 $T_S=40ns$ を仮定している。

【0015】図17を見れば明らかであるが、800mVのバイアスが印加された時の信号電圧の規格は、MTJ抵抗値のバラツキが5%に抑えられた場合と10%の場合で大きく異なる。従って、トンネルバリア層の組成分布を変化させて大きな信号電圧を得る前述の従来技術の方法では、せっかくMTJ単体の出力電圧が上がってもバラツキが増大してしまうため、大容量MRAMは実現できない。また、256MbitMRAMでは少なくとも170mV以上の信号出力、好ましくは200~300mVの信号出力が必要となる。

【0016】本発明は、これら問題を解決するためになされたものであり、256Mbit以上のMRAM、大容量ハードディスク装置(HDD)用の大きな信号電圧を発生する磁気抵抗効果素子を提供することを課題としている。

【0017】

【課題を解決するための手段】上記の課題を解決するために、本発明の第1の磁気抵抗効果素子は、第1の強磁性層と、この第1の強磁性層上に形成された第1のバリア層と、この第1のバリア層上に形成された第2の強磁性層と、この第2の強磁性層上に形成された第2のバリア層と、この第2のバリア層上に形成された第3の強磁性層3の積層層からなり、前記第1、第2および第3の強磁性層の磁性元素の割合が異なることを特徴としている。

【0018】上記のように第1、第2、第3の強磁性層の磁性元素の割合を異ならせることにより、電子の注入方向におけるバリア層のエネルギー障壁を高くすることができ、“1”状態のMRを大きくすることができる。これにより、MR比を大きくすることができる。

【0019】また、本発明の第2の磁気抵抗効果素子は、第1の強磁性層と、この第1の強磁性層上に形成された第1のバリア層と、この第1のバリア層上に形成された第2の強磁性層と、この第2の強磁性層上に形成された第2のバリア層と、この第2のバリア層上に形成された第3の強磁性層3の積層層からなり、前記第1および第2のバリア層の含有元素が異なることを特徴としている。

【0020】上記の構成によってもMR比を高くすることができる。これは、第1と第2のバリア層のエネルギー障壁の高さを変えると、出力信号(TMRの“1”状態と“0”状態の差電圧)とTMRへのバイアス電圧との間の特性カーブの非線形性に基づいて、“1”状態のMRが高くなることによると考えられる。

【0021】上記構造において、第1および第2のバリ

5

ア層は、金属の酸化膜、または窒化膜からなり、夫々の中では、酸素濃度分布、組成の分布が均一であることが好ましい。バリア中の酸素、窒素分布の均一化は、300℃以上でアニールを行うと酸素または窒素のバリア中での拡散一再結合が生じるので、容易に実現できる。バリア中の他の元素の組成も均一であることが好ましい。この均一化も、単金属または合金の状態では膜を付けた後、300℃以上でアニールを行うことで容易に作製できる。

【0022】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。

【0023】（第1の実施形態）第1の実施形態では、本発明の第1の基本形態を説明する。図1（a）は、本発明の第1の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の断面構造を示す断面図、図1（b）はそのエネルギーバンド図である。図1（a）に示すように、第1の実施形態の磁気抵抗効果素子は、強磁性層1（第1の強磁性層）上にバリア層2（第1のバリア層）を介して、強磁性層1と異なる磁性元素を含む強磁性層3（第2の強磁性層）を積層し、さらにこの上にバリア層4（第2のバリア層）を介して、強磁性層1、3と異なる磁性元素を含む強磁性層5（第3の強磁性層）を積層し、磁気抵抗効果素子10を形成している。

【0024】第1の実施形態の磁気抵抗効果素子は、強磁性層1/バリア層2/強磁性層3/バリア層4/強磁性層5からなる強磁性二重トンネル接合素子であり、強磁性層1、3、5の磁性元素の割合を変えることにより、図1（b）に示すように、強磁性体のフェルミ面のエネルギー位置を変えることができる。

【0025】このような状態は、例えば磁性層にCo-Fe合金、Co-Ni合金、Ni-Fe合金、Co-Fe-Ni合金を用いた場合、強磁性層1、3、5を順番に成膜する際、例えばNi元素の割合（atomic%）を強磁性層1、3、5毎に変えることで容易に実現ができる。

【0026】上記構造において、バリア層2、4は、Al、Mg等の金属の酸化膜、または窒化膜からなり、夫々の中では、酸素濃度分布、組成の分布が均一であることが好ましい。バリア層中の酸素、窒素分布の均一化は、300℃以上でアニールを行うと酸素または窒素のバリア中での拡散一再結合が生じるので、容易に実現できる。

【0027】バリア層中の他の元素の組成も均一であることが好ましく、この均一化も、単金属または合金の状態では膜を付けた後、300℃以上でアニールを行うことで容易に作製できる。

【0028】また、強磁性層1、3、5は、構成元素の濃度分布が略均一となるように合金ターゲットを用いるか同時スパッタの方法で形成されており、形成後アニー

6

ルを行っても特性がばらつくことはない。このため、均一な特性で大きなMR値を得ることができるとともに、従来最大の信号電圧が得られると考えられていた、MR比のバイアス依存性のピークが正バイアス電圧側にあるものと負バイアス電圧側にあるものとを直列接続した二重接合構造、または濃度勾配を付けない強磁性二重トンネル接合構造よりも大きな信号電圧を、図1（b）に矢印で示した電子が侵入する方向において得ることができる。これは、この方向から電子が侵入した場合、実効的なバリア高さが高くなることに起因していると考えられる。

【0029】（第2の実施形態）第2の実施形態では、本発明の第2の基本形態を説明する。図2（a）は、本発明の第2の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の断面構造を示す断面図、図2（b）はそのエネルギーバンド図である。図2（a）に示すように、第2の実施形態の磁気抵抗効果素子は、強磁性層11（第1の強磁性層）上にバリア層12（第1のバリア層）を介して、強磁性層13（第2の強磁性層）を積層し、さらにこの上にバリア層14（第2のバリア層）を介して、強磁性層15（第3の強磁性層）を積層し、磁気抵抗効果素子20を形成している。

【0030】第2の実施形態の磁気抵抗効果素子も、強磁性層11/バリア層12/強磁性層13/バリア層14/強磁性層15からなる強磁性二重トンネル接合素子であるが、バリア層12、14の含有元素を変えることにより、バリア層12、14のエネルギー障壁の高さを変えることができる。このような状態は、例えばバリア層12、14作製時、酸化または窒化前に成膜する金属元素Mを変えるか、バリア層12を酸化（M-O）し、バリア層14を窒化（M-N）する、またはバリア層12を酸化（M-O）し、バリア層14を窒素と酸素の混合バリア（M-N-O）にする等によって容易に実現ができる。

【0031】また、バリア層12、14の中では、元素の濃度が均一であることが好ましい。バリア層中に欠陥等があり、O、Nの分布が不均一であると、MR比のバイアス依存性が減少し、信号電圧が低下する。これらを均一にするためには、酸化、または、窒化時に多少オーバー酸化または窒化してから300℃以上でアニールをすることが好ましい。上記のプロセスを入れると、バリア層中の酸素または窒素濃度分布、元素分布が均一になるため、バラツキの原因が無くなり、均一な特性で大きなMR値を得ることができる。

【0032】第2の実施形態によれば、従来最大の信号電圧が得られると考えられていた、MR比のバイアス依存性のピークが正バイアス電圧側にあるものと負バイアス電圧側にあるものとを直列接続する二重接合構造よりも大きな信号電圧を得ることができる。これは、バリアの障壁高さが異なることと、素子への印加電圧と出力信

号電圧との関係における非線形性に起因していると考えられる。

【0033】（第3の実施形態）図3は、本発明の第3の実施形態に係る磁気抵抗効果素子30の層構造を示す断面図である。第3の実施形態は、第1の実施形態の構造に対し、反強磁性層6、7を上下面に付与した、いわゆるスピバルブ型にしたものである。第1の実施形態と同一個所には同一番号を付して、重複する説明を省略する。

【0034】図3に示す反強磁性層6／強磁性層1／バリア層2／強磁性層3／バリア層4／強磁性層5／反強磁性層7からなる積層体を、 $\text{Ir-Mn}/\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30}/\text{AlO}_x/(\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30})_{80}\text{Ni}_{20}/\text{AlO}_x/(\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30})_{50}\text{Ni}_{50}/\text{Ir-Mn}$ の材料構成により作製した。上記積層体において、バリア層2、4は、金属Alを成膜後プラズマ酸化を行って作製した。前述のように、酸素濃度分布を均一にするため320℃で1時間のアニールを行った。この試料をA1とする。

【0035】また、比較のため、従来技術のうち一番大きな信号電圧が得られる、MR比のバイアス依存性のピークが正バイアス電圧側にあるものと負バイアス電圧側にあるものとを直列接続した二重接合型構造による試料B、Cを以下のように作成した。

B) $\text{Ir-Mn}/\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30}/\text{AlO}_x/\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30}/\text{AlO}_x/\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30}/\text{Ir-Mn}$ (AlO_x のバリアの酸素濃度を分布をつけたもの)。

C) $\text{Ir-Mn}/\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30}/\text{AlO}_x/\text{AlNx}/\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30}/\text{AlNx}/\text{AlO}_x/\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30}/\text{Ir-Mn}$ (バリアを2層にしピン層(磁化固着)側のバリア高さを高くしたもの)。

【0036】また標準試料として、次の試料Dを作製した。

D) $\text{Ir-Mn}/\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30}/\text{AlO}_x/\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30}/\text{AlO}_x/\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30}/\text{Ir-Mn}$ (AlO_x のバリアの酸素濃度分布を均一にして、 Al_2O_3 に近くなるように最適に酸化条件をつけたもの)。

【0037】比較例の構造で用いた磁性層には、全てMR比が大きい特性が得られる $\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30}$ を使用している。バリア層、磁性層の膜厚はA1、B、C、Dとも同じにして比較を行った。微細加工は通常のフォトリソグラフィとイオンミリングを用い、 $4 \times 4 \mu\text{m}^2$ のTMR素子を作製した。

【0038】図4に上記のA1、B、C、D各試料のバイアス電圧—出力信号電圧特性を示す。比較試料B、C、標準試料Dでは、MR比が大きい特性が得られる $\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30}$ を用いても、得られた最大の信号出力は本発明の試料A1に比べて小さい。本発明の構造においては、正電圧側で最も大きな信号出力が得られ、本発明の構造が大容量MRAM等に有効であることが分かった。また、面内のバラツキも小さく、比較例B、Cでは、4

00mVで測定時のMR比のバラツキが夫々 $\pm 12.5\%$ 、 $\pm 10.7\%$ 有ったのに対して、本実施形態の試料A1ではバラツキが $\pm 3.9\%$ と良好であることが分かった。

【0039】（第4の実施形態）図5は、本発明の第4の実施形態に係る磁気抵抗効果素子40の層構造を示す断面図である。第4の実施形態は、第2の実施形態の構造に対し、反強磁性層16、17を上下面に付与した、いわゆるスピバルブ型にしたものである。第2の実施形態と同一個所には同一番号を付して、重複する説明を省略する。

【0040】図5に示す反強磁性層16／強磁性層11／バリア層12／強磁性層13／バリア層14／強磁性層15／反強磁性層17の積層体として、2つの試料A2、A3を作成した。

A2) $\text{Ir-Mn}/\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30}/\text{AlO}_x/\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30}/\text{GaO}_x/\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30}/\text{Ir-Mn}$

A3) $\text{Ir-Mn}/\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30}/\text{AlO}_x\text{Ny}/(\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50})_{70}\text{Ni}_{30}/\text{AlO}_x/\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30}/\text{Ir-Mn}$ 。

【0041】上記積層体において、バリア層12、14は、金属Alを成膜後プラズマ酸化、または酸素と窒素ガスを導入しプラズマを発生させることにより AlO_xNy を作製した。作製後、前述のようにバリア層中の濃度分布を均一にするため320℃で1時間のアニールを行った。微細加工は通常のフォトリソグラフィとイオンミリングを用い、 $4 \times 4 \mu\text{m}^2$ のTMR素子を作製した。

【0042】また、比較のため、従来技術のうち一番大きな信号電圧が得られる、MR比のバイアス依存性のピークが正バイアス電圧側にあるものと負バイアス電圧側にあるものとを直列接続した二重接合型の構造による試料Eを次の組成で作成した。

E) $\text{Ir-Mn}/\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30}/\text{AlO}_x/\text{AlNx}/(\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50})_{70}\text{Ni}_{30}/\text{AlNx}/\text{AlO}_x/\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30}/\text{Ir-Mn}$ (バリアを2層にしピン層側のバリア高さを高くしたもの)。

【0043】また標準試料Fとして、 $\text{Ir-Mn}/\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30}/\text{AlO}_x/(\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50})_{70}\text{Ni}_{30}/\text{AlO}_x/\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30}/\text{Ir-Mn}$ (AlO_x のバリアの酸素濃度分布を均一として、 Al_2O_3 に近いように最適に酸化条件をつけたもの)を作製した。

【0044】各バリア層、磁性層の膜厚は試料A2、A3、E、Fとも同じにして比較を行った。図6に試料A2、A3、E、Fのバイアス電圧—出力信号電圧特性を示す。比較試料E、標準試料Fでは、本実施形態の試料A2、A3に比べて信号出力が小さい。本実施形態の試料A2、A3において、正電圧側で最も大きな信号出力が得られ、大容量MRAM等に有効であることが分かった。また、面内のバラツキも小さく、比較試料Eでは、

400mVで測定時のMR比のバラツキが±11.5%有ったのに対して、本実施形態の試料A2、A3ではバラツキが±4.2%と良好であることが分かった。

【0045】(第5の実施形態)第1の実施形態において、強磁性層1,5の少なくとも一方を、反強磁性結合記録層とすることができる。第5の実施形態はそのような例であり、図7(a)に第5の実施形態の磁気抵抗効果素子50の断面構造を示す。図7(a)においては、図1の強磁性層1の部分、(強磁性層1-1/非磁性層8a/強磁性層1-2)の三層構造となっており、非磁性層8aを介して反強磁性結合をしている、いわゆる反強磁性結合層となっている。また、図7(b)は、図7

(a)の変形例として、図1の強磁性層5の部分をも反強磁性結合記録層とした磁気抵抗効果素子50'の例である。なお、第1の実施形態と同一部分には同一番号を付して、重複する説明を省略する。

【0046】上記の三層構造をピン層(磁化固着層)として用いることにより、より強固にピン層のスピンを固着することができるとともに、ピン層(1,5)からの記憶層(3)への漏れ磁場が小さくなるため、R(抵抗)-H(磁場)曲線をゼロ磁場をセンターに設計することが容易になる。また、何度かの書き込みによってピン層の一部の磁気モーメントが回転してしまい出力が徐々に低下してしまうという問題も完全に無くなる。

【0047】この場合、本発明の効果を有効に発揮させるためには、(強磁性層1-1/非磁性層8a/強磁性層1-2)/バリア層2/強磁性層3/バリア層4/(強磁性層5-1/非磁性層8b/強磁性層5-2)において、バリア層に接している磁性層の元素を、強磁性層1-2、強磁性層3、強磁性層5-1の磁性元素含有量の割合を変えれば良く、強磁性層1-1、強磁性層5-2に特に制限は無い。

【0048】(第6の実施形態)第2の実施形態に対しても、強磁性層11,15の少なくとも一方を、反強磁性結合記録層とすることができる。断面構造は第5の実施形態と同様になるので、図7を兼用することとし、参照番号を括弧の中に記した。

【0049】この場合、(強磁性層11-1/非磁性層18a/強磁性層11-2)/バリア層12/強磁性層13/バリア層14/(強磁性層15-1/非磁性層/強磁性層15-2)構造において、バリア層12、14の含有元素を変えれば良く、強磁性層11-2、強磁性層13、強磁性層15-1、強磁性層11-1、強磁性層15-2に特に制限は無い。

【0050】(第7の実施形態)第3および第4の実施形態に対しても、強磁性層1,5の少なくとも一方あるいは11,15の少なくとも一方を、反強磁性結合記録層とすることができる。第7の実施形態はそのような例であり、図8(a)に第7の実施形態の磁気抵抗効果素子50の断面構造を示す。図8(a)においては、図4の強磁性層1の部分、(強磁性層1-1/非磁性層8a/強磁性層1-2)の反強磁性結合層となっている。図8

(b)は図4の強磁性層5の部分も反強磁性結合記録層とした例である。なお、第3の実施形態と同一部分には同一番号を付して、重複する説明を省略する。

【0051】第4の実施形態(図5)に対しても、同様に反強磁性結合層を適用することができるが、断面構造は図8と同様になるので、図8を参照することとし、参照番号を括弧の中に記載してある。

【0052】第7の実施形態では、第5、第6の実施形態と同様な効果が得られる上に、反強磁性膜6,7(16,17)の膜厚を薄くでき、加工精度が上昇すること等のメリットがあり、スイッチング磁場のバラツキが減少する。

【0053】(第8の実施形態)第1乃至第7の実施形態において、中央部の強磁性層3(13)も強磁性層/非磁性層/強磁性層の3層構造とすることが好ましい。第8の実施形態はこのような例であり、図9に断面構造を示す。図9(a)は第1又は第2の実施形態(図1または図2)に上記の3層構造を適用した例を代表として示すが、第3又は第4の実施形態に適用することもできる。図9(b)は第3または第4の実施形態に適用した例である。また、図1乃至図4と同一部分には同一番号を付して、重複する説明を省略する。

【0054】図9においては、図1の強磁性層3の部分(強磁性層3-1/非磁性層8c/強磁性層3-2)の3層構造としている。この場合、強磁性層3-1と強磁性層3-2間に弱い強磁性結合があることが好ましい。強磁性層/非磁性層/強磁性層の3層構造は、第5乃至第7の実施形態では反強磁性結合としていたが、強磁性層、非磁性層の材料、膜厚等を適切に選択することにより、本実施形態のように強磁性結合とすることもできる。

【0055】また、強磁性層3-1と強磁性層3-2の組成は、エネルギーレベルを同一にするために、実質的に同一の組成とすることが望ましい。

【0056】本実施形態の構造を磁気記録層に用いると、スイッチング磁場のセル幅依存性が小さくなる。即ち、セル幅を小さくしてもスイッチング磁場の増大が小さい。このため、MRAMを大容量化しTMRのセル幅が小さくなくても、消費電力の増大、書きこみ時の配線のエレクトロマイグレーションの心配が無く、大容量MRAMを作製できる。強磁性結合の強さは弱い方が好ましく、弱いほどスイッチング磁場は小さくなる。また、弱い強磁性結合を有する三層以上の強磁性層/非磁性層/強磁性層/非磁性層/強磁性層構造を用いてもスイッチング磁場は増大しない。また、この構造を用いると、強磁性層単層の時に比べて超常磁性になる膜厚の限界が膜厚が薄い領域まで伸ばすことができ、熱安定性の面でも好ましい傾向を示す。

【0057】上記の第1乃至第8の実施形態を通じて、磁性材料、バリア層材料等は下記のように選択することができる。

10

20

30

40

50

【0058】本発明の強磁性層の元素、種類は、特に制限はなく、は、Fe、Co、Niまたはそれら合金、スピントラップの大きいマグネタイト、 CrO_2 、 R XMnO_{3-y} (R:希土類、X:Ca, Ba, Sr)などの酸化物の他NiMnSb、PtMnSb、等のホイスラー合金、 Zn-Mn-O 、 Ti-Mn-O 、 CdMnP_2 、 ZnMnP_2 などの磁性半導体を用いることができる。

【0059】本発明の強磁性層の膜厚は超常磁性にならない程度の厚さが必要であり、0.4nm以上であることが好ましい。また、あまり厚いとスイッチング磁場、漏れ磁場が大きくなってしまいうため、3.0nm以下であることが好ましい。また、これら磁性体にはAg、Cu、Au、Al、Mg、Si、Bi、Ta、B、C、O、N、Pd、Pt、Zr、Ir、W、Mo、Nbなどの非磁性元素が多少含まれていても強磁性を失わない限り良い。

【0060】反強磁性膜は、Fe-Mn、Pt-Mn、Pt-Cr-Mn、Ni-Mn、Ir-Mn、NiO等が使用できる。非磁性層としては、Cu、Au、Ru、Ir、Rh、Agなどを用いることができる。反強磁性結合として用いる場合(ピン層の場合)は、Ru、Ir、Rhが好ましく、強磁性結合として用いる場合(記録層の場合)は、Cu、Au、Agが好ましいが、膜厚等により調整も可能なので、これらに限られるものではない。

【0061】本発明の誘電体または、絶縁層としては、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 MgO 、 AlN 、 AlON 、 GaO 、 Bi_2O_3 、 SrTiO_2 、 AlLaO_3 などの様々な誘電体を使用することができる。これらは、多少の酸素、窒素欠損が存在していても構わない。

【0062】誘電体層の厚さはTMRの接合面積に依存し、3nm以下であることが好ましい。基板は特に制限はなく、Si、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 AlN 等各種基板上に作製できる。その上に、下地層、保護層として、Ta、Ti、Pt、Pd、Au等の単層膜や、Ti/Pt、Ta/Pt、Ti/Pd、Ta/Pd等の積層膜を用いることが好ましい。

【0063】このような磁気抵抗効果素子は、各種スパッタ法、蒸着法、分子線エピタキシャル法などの通常の薄膜形成装置を用いれば作製することができる。

【0064】上記の強磁性トンネル接合は、磁気記録素子、磁気抵抗効果型磁気ヘッド、磁気再生装置等に適用することができる。以下、本発明の磁気抵抗効果素子の応用例の実施形態を説明する。

【0065】(第9の実施形態)第9の実施例では、本発明の磁気抵抗効果素子を磁気記録装置(MRAM)に適用した例を説明する。図10はMRAMの模式的な回路図、図11は個別の記録素子の構成を説明するための断面図である。

【0066】MRAMは、図10に示すように、ローデ

コーダ140で制御される複数の読み出しワード線WL1(122)と、カラムデコーダ150で制御され、ワード線122と交差する複数のビット線BL(134)を備える。ワード線122とビット線134の各交点には、本発明の磁気抵抗効果素子(例えば第1の実施形態の10、第2乃至第8の実施形態の20、30、40、50、60、70、80、90等を使用してもよい)と、ワード線122によりその導通が制御されるスイッチ(導通制御素子)としてのMOSFET120を備える。また、読み出しワード線122と平行方向に、磁気抵抗素子10に近接して延在する書き込みワード線WL2(131)を備える。

【0067】各メモリ素子は図11のように構成されている。半導体基板の表面にMOSFET120を形成する。123、124がソース・ドレイン領域であり、ゲート電極122が延在して形成され、ワード線WL1(122)となる。ソース・ドレイン領域の一方124に接続したコンタクト132を介して、下地配線133が形成されており、この下地配線133とビット線134の間に本発明の磁気抵抗効果素子10を形成する。また、磁気抵抗効果素子10に近接して書き込み用のワード線WL2(131)を形成する。

【0068】上記のMRAMでは、MR比の大きい本発明の磁気抵抗効果素子を使用しているため、256Mbit以上の大容量になっても、安定した動作が可能になる。

【0069】(第10の実施形態)第10の実施例も、本発明の磁気抵抗効果素子を磁気記録装置に適用した例であるが、導通制御素子にダイオードを使用した例である。図12は磁気記録装置の模式的な回路図、図13は個別の記録素子の構成を説明するための断面図である。

【0070】図示しないロウコーダに接続された複数のワード線223と、図示しないカラムデコーダに接続された複数のビット線227の各交点において、本発明の磁気抵抗効果素子10(或いは20、30、40、50、60、70、80、90)とダイオード222の直列体が、ビット線227とワード線223の間に接続されている。

【0071】各メモリ素子としての磁気抵抗効果素子とダイオードは、図13に示すように、例えばワード線223上にダイオード222を形成し、その上に磁気抵抗効果素子10を直接形成し、さらにその上にビット線227を形成することにより構成できる。

【0072】或いは、図14に示すように、通常のICプロセスに適合させた方法で形成することもできる。即ち、半導体基板221上の素子分離絶縁膜221aで分離された領域に、p型領域222bとn型領域222aからなるダイオード222を形成する。n型領域222aにはコンタクト228を介してワード線223を接続する。p型領域222bにはコンタクト229を介して

13

下地配線 226 が形成され、この下地配線 226 とビット線 227 の間に本発明の磁気抵抗効果素子 10 を形成する。なお、230 は層間絶縁膜である。また、図 14 に示したように、SOI 基板を用いることがより好ましい。

【0073】上記のように構成しても、第 9 の実施形態と同様に、動作の安定した磁気記録素子を実現することができる。

【0074】（第 11 の実施形態）第 11 の実施例は、本発明の磁気抵抗効果素子を磁気ヘッドに応用した例を説明する。

【0075】図 15 は、本発明の磁気抵抗効果素子 10 を搭載した磁気ヘッドアセンブリの斜視図である。アクチュエータアーム 301 は、磁気ディスク装置内の固定軸に固定されるための穴が設けられ、図示しない駆動コイルを保持するボビン部等を有する。アクチュエータアーム 301 の一端にはサスペンション 302 が固定されている。サスペンション 302 の先端には信号の書き込み、および読み取り用のリード線 304 が配線され、このリード線 304 の一端はヘッドスライダ 303 に組み込まれた磁気抵抗効果素子 10 の各電極に接続され、リード線 304 の他端は電極パッド 305 に接続されている。なお、磁気抵抗効果素子 10 は第 1 の実施形態の素子であるが、第 2 乃至第 8 の実施形態の磁気抵抗効果素子 20、30、40、50、60、70、80、90 等であってもよい。

【0076】図 16 は、図 15 に示す磁気ヘッドアセンブリを搭載した磁気ディスク装置（磁気再生装置）の内部構造を示す斜視図である。磁気ディスク 311 はスピンドル 312 に装着され、図示しない駆動装置制御部からの制御信号に応答する図示しないモータにより回転する。

【0077】アクチュエータアーム 301 は固定軸 313 に固定され、サスペンション 302 およびその先端のヘッドスライダ 303 を支持している。磁気ディスク 311 が回転すると、ヘッドスライダ 303 の媒体対向面は磁気ディスク 311 の表面から所定量浮上した状態で保持され、情報の記録再生を行う。

【0078】アクチュエータアーム 301 の基端にはリニアモータの一種であるボイスコイルモータ 314 が設けられている。ボイスコイルモータ 314 はアクチュエータアーム 301 のボビン部に巻き上げられた図示しない駆動コイルとこのコイルを挟み込むように対向して配置された永久磁石および対向ヨークからなる磁気回路とから構成されている。

【0079】アクチュエータアーム 301 は、固定軸 313 の上下 2 箇所に設けられた図示しないボールベアリングによって支持され、ボイスコイルモータ 314 により回転摺動が自在にできるようになっている。

【0080】上記のように本発明の磁気抵抗効果素子を

14

使用した磁気ヘッドあるいは磁気再生装置は、磁気抵抗効果素子より高出力信号が得られるので、安定した動作と大容量化が可能になる。

【0081】

【発明の効果】本発明の構造を用いれば、熱処理に伴う MR 値、抵抗値の面内バラツキが小さく、磁気抵抗効果素子の更なる高出力化が可能となり、大容量の固体磁気メモリあるいは磁気再生装置を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の (a) 断面図と (b) 各層のエネルギーレベルを示した図。

【図 2】本発明の第 2 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の (a) 断面図と (b) 各層のエネルギーレベルを示した図。

【図 3】本発明の第 3 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の断面図。

【図 4】第 3 の実施形態の磁気抵抗効果素子におけるバイアス電圧と出力信号電圧の関係を示す特性図。

【図 5】本発明の第 4 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の断面図。

【図 6】第 4 の実施形態の磁気抵抗効果素子におけるバイアス電圧と出力信号電圧の関係を示す特性図。

【図 7】本発明の第 5（或いは第 6）の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の断面図。

【図 8】本発明の第 7 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の断面図。

【図 9】本発明の第 8 の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の断面図。

【図 10】本発明の第 9 の実施形態に係る磁気抵抗記録装置（MRAM）の回路図。

【図 11】第 9 の実施形態の磁気抵抗記録素子の構成を示す断面図。

【図 12】本発明の第 10 の実施形態に係る磁気抵抗記録装置（MRAM）の回路図。

【図 13】第 10 の実施形態の磁気抵抗記録素子の 1 構成を示す斜視図。

【図 14】第 10 の実施形態の磁気抵抗記録素子の他の構成を示す断面図。

【図 15】本発明の第 11 の実施形態に係る磁気抵抗効果ヘッドの斜視図。

【図 16】第 11 の実施形態の実記抵抗効果ヘッドが使用された磁気再生装置の斜視図。

【図 17】256 Mbit MRAM を想定した場合の抵抗率と出力信号電圧の規格例。

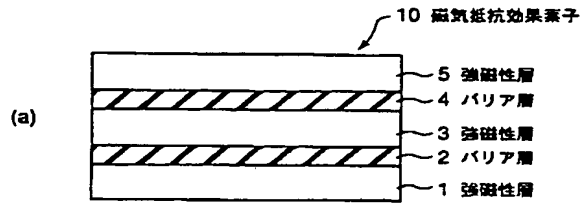
【符号の説明】

1、3、5、11、13、15、1-1、1-2、11-1、11-2、3-1、3-3、13-1、13-3、5-1、5-2、15-1、15-2、…強磁性層
2、4、12、14…バリア層

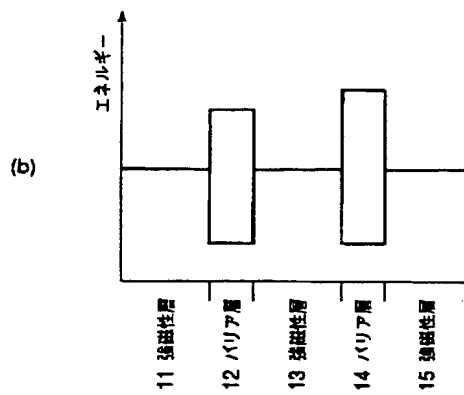
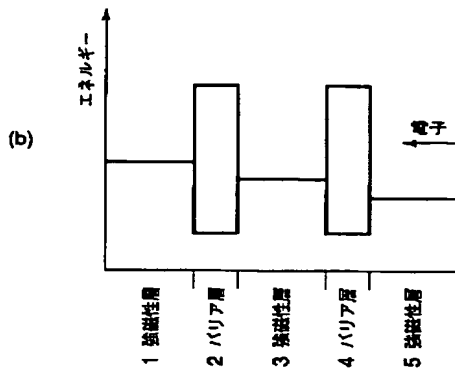
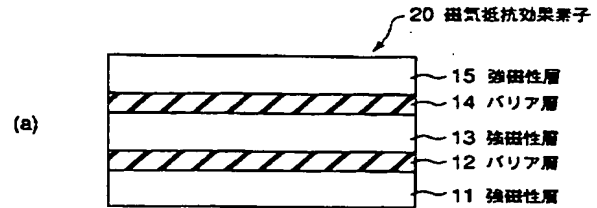
15
 6, 7, 16, 17…反強磁性層
 8a, 8b, 8c, 18a, 18b, 18c…非磁性層
 10, 20, 30, 40, 50, 50′, 60, 60′ *

16
 *′, 70, 70′, 80, 80′, 90, 90′…磁気抵抗効果素子

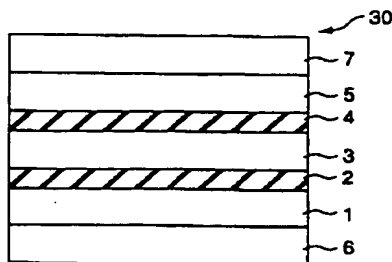
【図1】



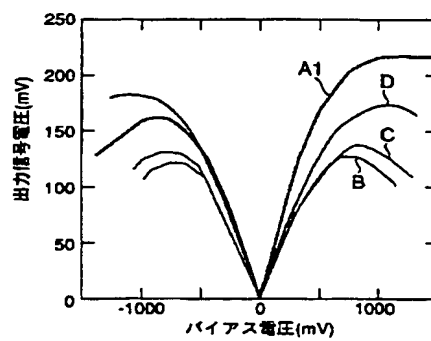
【図2】



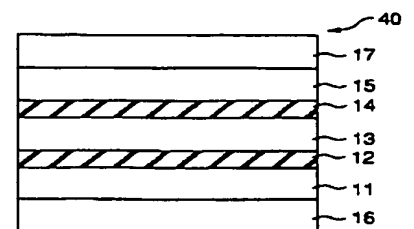
【図3】



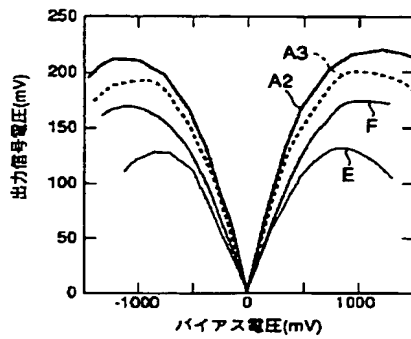
【図4】



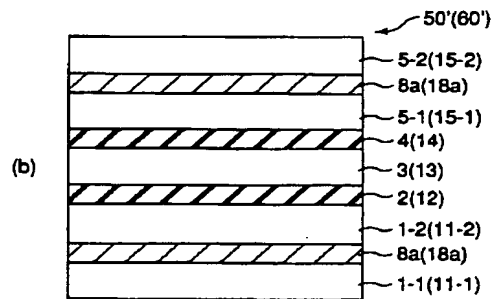
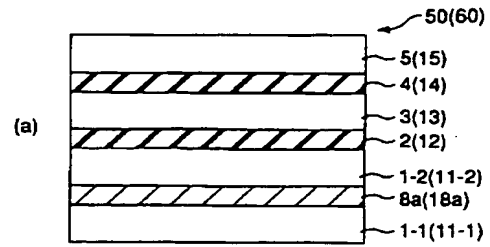
【図5】



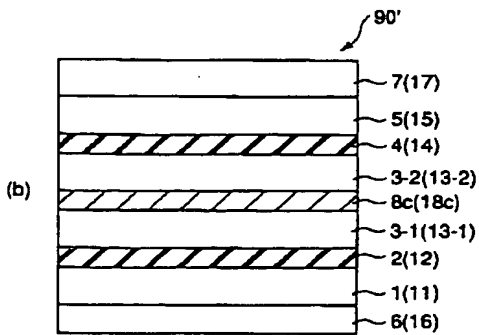
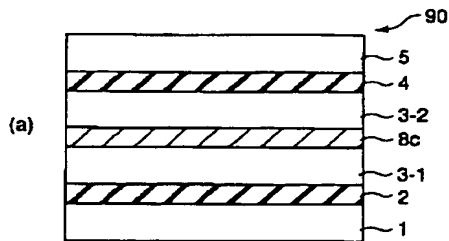
【図6】



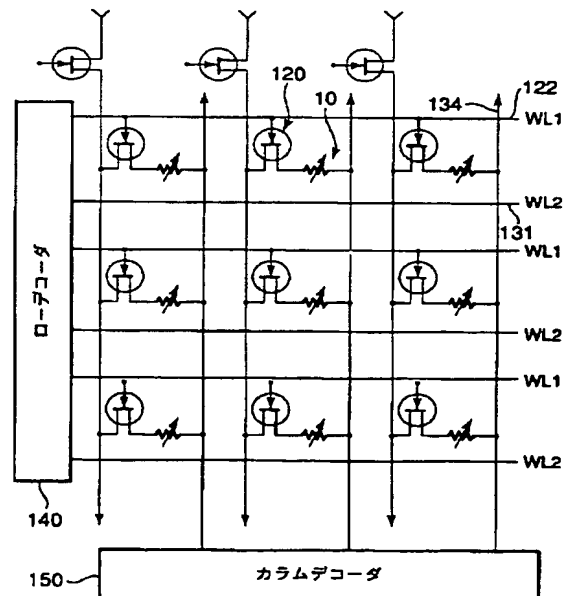
【図7】



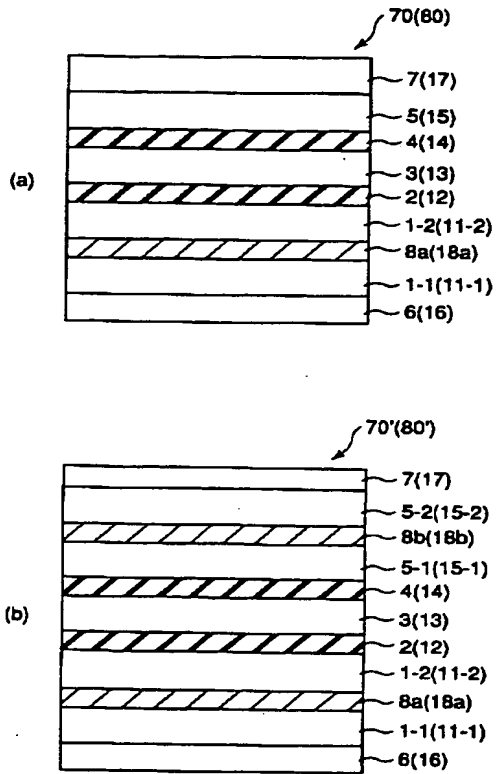
【図9】



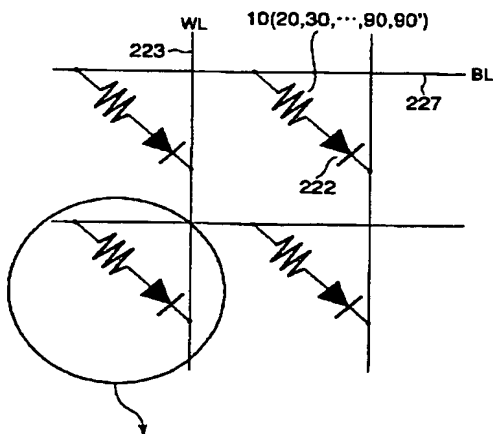
【図10】



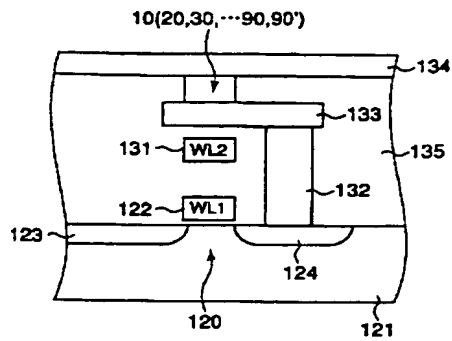
【図8】



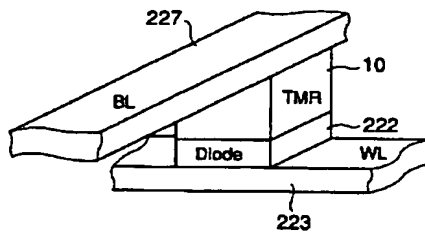
【図12】



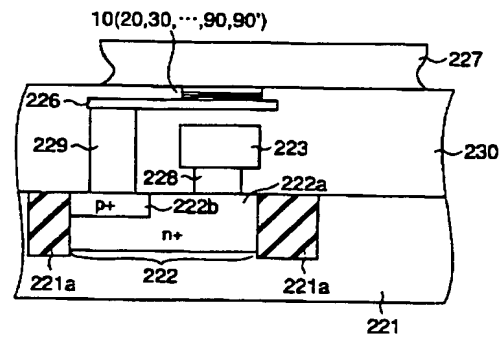
【図11】



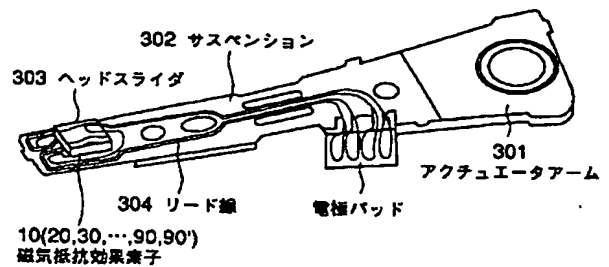
【図13】



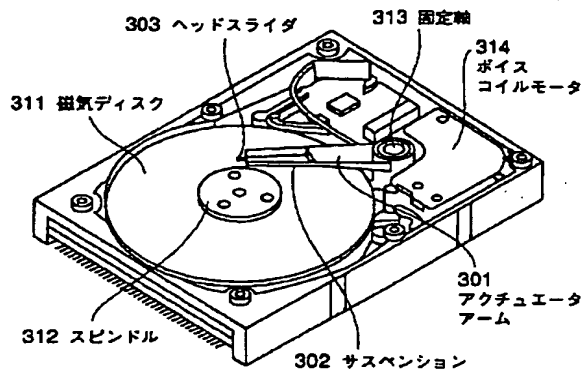
【図14】



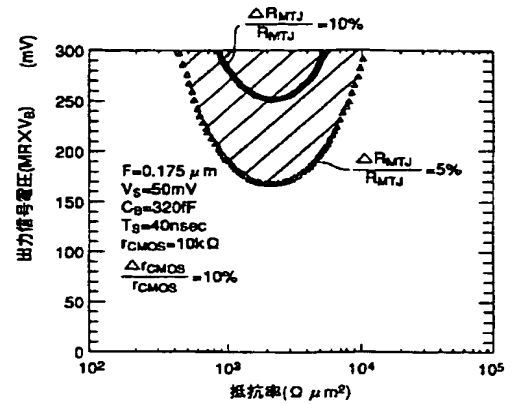
【図15】



【図16】



【図17】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷

H 0 1 F 10/26

H 0 1 L 27/105

識別記号

F I

G 0 1 R 33/06

H 0 1 L 27/10

テーマコード* (参考)

R

4 4 7

(72)発明者 天野 実

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 中島 健太郎

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 高橋 茂樹

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 岸 達也

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内

Fターム(参考) 2G017 AA01 AB07 AD55 AD65

5D034 BA03 BA15 BB02 CA00 DA07

5E049 BA12 DB02 DB12 GC01

5F083 FZ10 KA01 LA04 LA05 LA16

MA06 MA16 MA19